

USPS EXPRESS MAIL

EV 511 024

Rec'd USPTO

08 APR 2005

APRIL 8 2005

10/530913

4846

GERMAN TEXT OF PCT/DE2003/002967  
AS ORIGINALLY FILED ON SEPT. 8 2003

5

Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen einer  
ersten und zweiten Sende-Empfangs-Station

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen einer  
ersten und zweiten Sende-Empfangs-Station gemäß dem Oberbegriff des Pa-  
tentanspruchs 1.

Ein derartiges Verfahren ist aus der DE 100 19 277 A1 bekannt. Bei diesem  
Verfahren wird zwischen einem von einem Benutzer bei sich zu tragenden elek-  
tronischen Schlüsselmodul und einer in einem Kraftfahrzeug vorgesehenen Aus-  
werteeinheit eine Funkverbindung zur Übertragung von Daten aufgebaut, um das  
Schlüsselmodul anhand einer im Schlüsselmodul gespeicherten Identifikations-  
nummer zu identifizieren, und das Kraftfahrzeug ggf. zur Benutzung freizugeben.  
Der Aufbau der Funkverbindung erfolgt dabei über eine im Schlüsselmodul und  
eine in der Auswerteeinheit vorgesehene Sende-Empfangs-Station. Um zu ver-  
hindern, daß die Funkverbindung über Relaisstationen verlängert wird und das  
Kraftfahrzeug unbemerkt vom berechtigten Benutzer zur Benutzung freigegeben  
wird, wird der Abstand zwischen dem Schlüsselmodul und der Auswerteeinheit  
ermittelt und die Freigabe des Kraftfahrzeugs verhindert, wenn das Schlüsselmo-  
dul sich nicht im Nahbereich der Auswerteeinheit befindet. Die Abstandsermitt-  
lung basiert dabei auf einer Signallaufzeitauswertung der über die Funkverbin-  
dung übertragenen Signale.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung des Ab-  
stands zwischen zwei Sende-Empfangs-Stationen anzugeben, das mit geringem  
Aufwand durchführbar ist und die Messung kurzer Abstände mit hoher Auflösung  
ermöglicht.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Erfindungsgemäß wird der Abstand zwischen einer ersten und zweiten Sende-Empfangs-Station durch Messung der Signallaufzeit eines in der ersten Sende-Empfangs-Station erzeugten und zur zweiten Sende-Empfangs-Station übertragenen ersten Sendesignals und eines in der zweiten Sende-Empfangs-Station erzeugten und zur ersten Sende-Empfangs-Station übertragenen zweiten Sendesignals ermittelt. Die erste Sende-Empfangs-Station empfängt das von der zweiten Sende-Empfangs-Station ausgesendete zweite Sendesignal als erstes Empfangssignal und die zweite Sende-Empfangs-Station empfängt das von der ersten Sende-Empfangs-Station ausgesendete erste Sendesignal als zweites Empfangssignal. Die Sendesignale werden jeweils als Mikrowellenimpulsreihe mit vorgegebener Impulswiederholfrequenz erzeugt, wobei die Impulswiederholfrequenzen sich voneinander um einen vorgegebenen, vorzugsweise gegenüber den Impulswiederholfrequenzen geringen Differenzfrequenzwert unterscheiden. Des weiteren werden in der ersten Sende-Empfangs-Station erste Koinzidenzzeitpunkte und in der zweiten Sende-Empfangs-Station zweite Koinzidenzzeitpunkte ermittelt, wobei die ersten Koinzidenzzeitpunkte den Zeitpunkten entsprechen, zu denen Impulse des ersten Sendesignals mit Impulsen des von der ersten Sende-Empfangs-Station empfangenen ersten Empfangssignals zusammentreffen, und die zweiten Koinzidenzzeitpunkte den Zeitpunkten entsprechen, zu denen Impulse des zweiten Sendesignals mit Impulsen des von der zweiten Sende-Empfangs-Station empfangenen zweiten Empfangssignals zusammentreffen. Die Signallaufzeit der Sendesignale und damit auch der Abstand zwischen den Sende-Empfangs-Stationen wird dann aus den Abständen zwischen den Koinzidenzzeitpunkten ermittelt.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird ein Koinzidenzabstand, der den zeitlichen Versatz zwischen den ersten und zweiten Koinzidenzzeitpunkten darstellt, als Maß der Signallaufzeit der Sendesignale und somit als Maß des Abstands zwischen den beiden Sende-Empfangs-Stationen ermittelt.

Vorzugsweise werden hierzu Informationen über die zweiten Koinzidenzzeitpunkte über einen Funkkanal von der zweiten Sende-Empfangs-Station zur ersten Sende-Empfangs-Station übertragen. Der Koinzidenzabstand wird dann in

der ersten Sende-Empfangs-Station aus den übermittelten Informationen und den in der ersten Sende-Empfangs-Station ermittelten ersten Koinzidenzzeitpunkten ermittelt. Die Übertragung der Informationen über die zweiten Koinzidenzzeitpunkte und die Übertragung der Sendesignale erfolgt dabei vorzugsweise über unterschiedliche Funkkanäle.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird das zweite Sendesignal durch Frequenzumtastung seiner Impulswiederholfrequenz moduliert und eine aus der Frequenzumtastung resultierende Änderung des Abstands zwischen den ersten Koinzidenzzeitpunkten als Maß des Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen ermittelt. Dabei wird die Impulswiederholfrequenz des zweiten Sendesignals vorzugsweise zeitsynchron zu den zweiten Koinzidenzzeitpunkten zwischen zwei festen Frequenzwerten gewechselt.

Die beiden festen Frequenzwerte werden vorteilhafterweise derart vorgegeben, daß der Wechsel vom einen Frequenzwert zum anderen Frequenzwert eine Verdoppelung des Betrags der Differenz zwischen den Impulswiederholfrequenzen der Sendesignale oder eine Vorzeichenumkehr dieser Differenz bewirkt.

In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens werden durch die Modulation des zweiten Sendesignals Daten von der zweiten Sende-Empfangs-Station zur ersten Sende-Empfangs-Station übertragen. Vorteilhafterweise wird auch das erste Sendesignal durch Frequenzumtastung moduliert, um von Daten von der ersten Sende-Empfangs-Station zur zweiten Sende-Empfangs-Station zu übertragen.

Vorzugsweise wird zur Ermittlung der Koinzidenzzeitpunkte in jeder Sende-Empfangs-Station das in der jeweiligen Sende-Empfangs-Station erzeugte Sendesignal mit dem von dieser Station empfangenden Empfangssignal durch Mischung in ein Zwischenfrequenzsignal und durch anschließende Filterung und Hüllkurvendenmodulation in ein impulsförmiges Auswertesignal umgesetzt. Die Pulse der Auswertesignale treten dabei zu den gesuchten Koinzidenzzeitpunkten auf.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich bestens für den Einsatz in einem schlüssellosen Schließsystem für Kraftfahrzeuge. Bei einem derartigen Schließ-

system ist im Kraftfahrzeug eine Basisstation als Auswerteeinheit vorgesehen, die über eine Funkstrecke mit tragbaren Schlüsselmodulen kommuniziert. Die Funkverbindung wird dabei über Sende-Empfangs-Stationen aufgebaut, die in der Basisstation bzw. in den Schlüsselmodulen vorgesehen sind. Der Verbindungsaufbau kann unbemerkt vom Benutzer, beispielsweise durch Betätigung eines Türgriffs erfolgen. Über die Funkverbindung werden Daten ausgetauscht, insbesondere werden in den Schlüsselmodulen gespeicherte Identifikationsnummern - vorteilhafterweise in verschlüsselter Form - zur Basisstation übertragen. Die Basisstation ermöglicht den Zugang zum Kraftfahrzeug, wenn sie anhand der Identifikationsnummer eines Schlüsselmoduls erkennt, daß diesem Schlüsselmodul eine Zugangsberechtigung zugeordnet ist, und wenn das Schlüsselmodul sich innerhalb eines bestimmten Abstands zur Basisstation befindet. Der Abstand wird dabei nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelt. Aufgrund der hohen Auflösung ist es zudem möglich, festzustellen, ob das Schlüsselmodul sich innerhalb oder außerhalb des Kraftfahrzeugs befindet. Damit ist es möglich, das Verriegeln des Kraftfahrzeugs zu verhindern, wenn das Schlüsselmodul sich im Inneren des Kraftfahrzeugs befindet.

Durch die Berücksichtigung des Abstands zwischen der Basisstation und dem Schlüsselmodul wird die Sicherheit des Schließsystems erhöht, weil der Zugang zum Kraftfahrzeug auch bei korrekter Identifikationsnummer verhindert wird, wenn der Abstand zwischen dem Schlüsselmodul und der Basisstation einen bestimmten Wert überschreitet. Unbefugten ist es damit nicht möglich, sich unbemerkt vom berechtigten Benutzer Zugang zum Kraftfahrzeug zu beschaffen, indem sie über Relaisstationen eine Funkverbindung zwischen dem Schlüsselmodul und der Basisstation aufbauen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 ein Blockschaltbild mit zwei Sende-Empfangs-Stationen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- 30 Figur 2-7 Zeitdiagramme von in den Sende-Empfangs-Stationen erzeugten und verarbeiteten Signalen.

Gemäß Figur 1 sind die erste Sende-Empfangs-Station 1 und die zweite Sende-Empfangs-Station 2 gleich ausgeführt. Die erste Sende-Empfangs-Station 1 umfaßt einen hochstabilen frequenzmodulierbaren Oszillator 10, einen Pulsformer 11, einen Mikrowellenoszillator 12, einen Koppler 13, einen Mischer 14, ein ZF-Filter 15, einen ZF-Verstärker 18, einen Hüllkurvendenmodulator 16 und eine Sende-Empfangs-Antenne 17. Entsprechend umfaßt auch die zweite Sende-Empfangs-Station 2 einen hochstabilen modulierbaren Oszillator 20, einen Pulsformer 21, einen Mikrowellenoszillator 22; einen Koppler 23, einen Mischer 24, ein ZF-Filter 25, einen ZF-Verstärker 28, einen Hüllkurvendenmodulator 26 und eine Sende-Empfangs-Antenne 27.

Die Sende-Empfangs-Stationen 1 und 2 werden durch einen Weckvorgang aktiviert und arbeiten gleichzeitig.

Dabei erzeugt der modulierbare Oszillator 10 in der ersten Sende-Empfangs-Station 1 ein nach Maßgabe eines Steuersignals M1 in der Frequenz modulierbares Oszillatorsignal O1, das dem Pulsformer 11 zugeführt wird, der daraus ein Triggersignal T1 mit schmalen Impulsen erzeugt, deren Pulsabstand oder Impulswiederholfrequenz  $fp_1$  durch die Schwingungsfrequenz des Oszillatorsignals O1 bestimmt wird. Das Triggersignal T1 wird dem Mikrowellenoszillator 12 zugeführt, der in Antwort auf die Impulse des Triggersignals T1 jeweils einen Mikrowellenimpuls mit einigen Perioden der Trägerfrequenz  $fc_1$  des Oszillators 12 erzeugt. Der Mikrowellenoszillator 12 gibt somit eine Mikrowellenimpulsreihe als erstes Sendesignal S1 ab, das über den Koppler 13 der Sende-Empfangs-Antenne 17 sowie dem Mischer 14 zugeführt wird.

Analog dazu erzeugt der modulierbare Oszillator 20 in der zweiten Sende-Empfangs-Station 2 ebenfalls ein nach Maßgabe eines Steuersignals M2 in der Frequenz modulierbares Oszillatorsignal O2, das dem Pulsformer 21 zugeführt wird, der daraus ebenfalls ein Triggersignal T2 mit schmalen Impulsen erzeugt, deren Impulswiederholfrequenz  $fp_2$  durch die Schwingungsfrequenz des Oszillatorsignals O2 bestimmt wird. Das Triggersignal T2 wird dem Mikrowellenoszillator 22 zugeführt, der in Antwort auf die Impulse des Triggersignals T2 jeweils einen Mikrowellenimpuls mit einigen Perioden der Trägerfrequenz  $fc_2$  des Oszillators 22 erzeugt. Der Mikrowellenoszillator 22 gibt somit eine Mikrowellenim-

pulsreihe als zweites Sendesignal S2 ab, das über den Koppler 23 der Sende-Empfangs-Antenne 27 sowie dem Mischer 24 zugeführt wird.

Über die Sende-Empfangs-Antennen 17 und 27 werden dann das erste bzw. zweite Sendesignal S1 bzw. S2 zur zweiten bzw. ersten Sende-Empfangs-Station 2 bzw. 1 ausgesendet und nach einer zeitlichen Verzögerung um eine Signallaufzeit  $\tau$  dort über deren Sende-Empfangs-Antenne 27 bzw. 17 als zweites bzw. erstes Empfangssignal E2 bzw. E1 empfangen.

In der ersten Sende-Empfangs-Station 1 wird das erste Empfangssignal E1 dann im Mischer 14 mit dem ersten Sendesignal S1 zu einem Zwischenfrequenzsignal Z1 zusammengeführt, aus dem durch Filterung im ZF-Filter 15, Verstärkung im ZF-Verstärker 18 und anschließende Demodulation im Hüllkurvendemodulator 16 ein erstes Auswertesignal D1 erzeugt wird. Entsprechend wird in der zweiten Sende-Empfangs-Station 2 das zweite Empfangssignal E2 im Mischer 24 mit dem zweiten Sendesignal S2 zu einem Zwischenfrequenzsignal Z2 zusammengeführt, aus dem durch Filterung im ZF-Filter 25, Verstärkung im ZF-Verstärker 28 und anschließende Demodulation im Hüllkurvendemodulator 26 ein zweites Auswertesignal D2 erzeugt wird.

Die Signallaufzeit  $\tau$  ist die Zeit, die die Sendesignale S1, S2 benötigen, um von der einen Sende-Empfangs-Station zur anderen zu gelangen. Sie ist aufgrund der festen Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen ein Maß für den gesuchten Abstand zwischen den beiden Sende-Empfangs-Stationen 1, 2.

Die Trägerfrequenzen  $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$  der Sendesignale S1, S2 sind gleich und liegen beispielsweise in dem Bereich von einigen GHz. An sie werden jedoch keine hohen Anforderungen bezüglich ihrer Genauigkeit und Frequenzstabilität gestellt.

Die Breite der Impulse der Triggersignale T1, T2 liegt in dem Bereich von ca. 1 ns und die Impulswiederholfrequenzen  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$  der Sendesignale S1, S2 liegen beispielsweise im Bereich von einigen MHz. Wesentlich ist, daß die Impulswiederholfrequenzen  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$  sich voneinander um einen Differenzfrequenzwert  $f_d$  unterscheiden. Die Genauigkeit der Entfernungsmessung ist dabei von der Ge-

naugigkeit und Frequenzstabilität der Impulswiederholffrequenzen  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$  abhängig.

Figur 2 zeigt die Zeitdiagramme der von den Sende-Empfangs-Stationen 1, 2 ausgesendeten Sendesignale  $S_1$ ,  $S_2$ , der von den Sende-Empfangs-Stationen 1, 2 empfangenen Empfangssignale  $E_1$ ,  $E_2$ , der Zwischenfrequenzsignals  $Z_1$ ,  $Z_2$ , und der Auswertesignale  $D_1$ ,  $D_2$  für den Fall, daß Sende-Empfangs-Stationen 1, 2 sich am gleichen Ort befinden. Für die Signallaufzeit  $\tau$  gilt somit  $\tau = 0$ , d. h. die Sendesignale  $S_1$ ,  $S_2$  werden auf der Übertragungsstrecke nicht verzögert. Daher entspricht das erste Sendesignal  $S_1$  dem zweiten Empfangssignal  $E_2$  und das zweite Sendesignal  $S_2$  dem ersten Empfangssignal  $E_1$ .

In der Figur sind – wie in der Vergrößerungsdarstellung A des Abschnitts a angedeutet – lediglich die Hüllkurven der Signale  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $E_1$ ,  $E_2$  dargestellt. Diese stellen Impulse dar, die im Falle des ersten Sendesignals  $S_1$  und des zweiten Empfangssignals  $E_2$  um eine Pulsperiode  $T_{p1}$  voneinander beabstandet sind und im Falle des zweiten Sendesignals  $S_2$  und des ersten Empfangssignals  $E_1$  um eine Pulsperiode  $T_{p2}$  voneinander beabstandet sind. Die Pulsperioden  $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$  entsprechen dabei dem Kehrwert der Impulswiederholffrequenz  $f_{p1}$  bzw.  $f_{p2}$  des jeweiligen Signals.

Die Mischung in den Mischern 14, 15 entspricht einer Abtastung des ersten und zweiten Empfangssignals  $E_1$ ,  $E_2$  mit dem ersten bzw. zweiten Sendesignal  $S_1$  bzw.  $S_2$ . Der Differenzfrequenzwert  $f_d$  ist so gering gewählt, daß es sich hierbei um eine Unterabtastung handelt.

Die resultierenden Auswertesignale  $D_1$ ,  $D_2$  sind ebenfalls impulsförmige Signale, deren Impulse periodisch im Pulsabstand  $T_d$  auftreten. Für den Pulsabstand  $T_d$  gilt dabei  $T_d = 1/f_d$ , wobei  $f_d$  den Differenzfrequenzwert darstellt, um den sich die Impulswiederholffrequenzen  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$  voneinander unterscheiden. Die Impulse des ersten Auswertesignals  $D_1$  treten dabei zu Zeitpunkten auf, zu denen Impulse des ersten Sendesignals  $S_1$  und des ersten Empfangssignals  $E_1$  zusammen treffen. Diese Zeitpunkte werden im folgenden als erste Koinzidenzzeitpunkte bezeichnet. Entsprechend treten die Impulse des zweiten Auswertesignals  $D_2$  zu Zeitpunkten auf, zu denen Impulse des zweiten Sendesignals  $S_2$  und des zwei-

ten Empfangssignale E2 zusammentreffen. Diese Zeitpunkte werden nachfolgend als zweite Koinzidenzzeitpunkte bezeichnet.

5 In der Figur sind noch Zeitpunkte  $t_{01}$ ,  $t_{02}$  dargestellt, zu denen die Impulse der beiden Sendesignale S1, S2 zeitlich zusammentreffen. Diese ebenfalls um den Pulsabstand  $T_d$  voneinander beabstandete Zeitpunkte werden nachfolgend als Sende-Koinzidenzzeitpunkte bezeichnet.

Bei einer Signallaufzeit  $\tau = 0$  fallen die ersten und zweiten Koinzidenzzeitpunkte mit den Sende-Koinzidenzzeitpunkten zusammen, da die Empfangssignale E1, E2 sich mit den jeweiligen Sendesignalen S1 bzw. S2 zeitlich decken.

10 Figur 3 zeigt die Signale aus Figur 2 für den Fall, daß das erste Empfangssignal E1 gegenüber dem zweiten Sendesignal S2 und das zweite Empfangssignal E2 gegenüber dem ersten Sendesignal S1 auf dem Übertragungsweg um Signallaufzeit  $\tau > 0$  zeitlich verzögert werden. Die Auswertesignale D1 und D2 verschieben sich dann gegenüber den Sende-Koinzidenzzeitpunkten  $t_{01}$ ,  $t_{02}$  in jeweils unterschiedliche Richtungen. Die Richtung der Verschiebung hängt dabei  
15 davon ab, ob das erste Sendesignal S1 gegenüber dem zweiten Sendesignal S2 die höhere oder niedrigerere Impulswiederholffrequenz aufweist. Im dargestellten Fall wird das erste Auswertesignal D1 gegenüber den Sende-Koinzidenzzeitpunkten  $t_{01}$ ,  $t_{02}$  um einen ersten Verschiebewert  $tv_1$  nach rechts verschoben während das zweite Auswertesignal D2 um einen zweiten Verschiebewert  $tv_2$   
20 nach links verschoben wird. Man erhält dann die Zeitpunkte  $t_{11}$ ,  $t_{12}$  als erste Koinzidenzzeitpunkte und die Zeitpunkte  $t_{21}$ ,  $t_{22}$  als zweite Koinzidenzzeitpunkte.

Für die Verschiebewerte  $tv_1$ ,  $tv_2$  gilt dabei

25  $tv_1 = \tau \cdot na_1$

$$tv_2 = \tau \cdot na_2$$

mit



$$na1 = \frac{fp1}{fd} = \frac{fp1}{|fp1 - fp2|}$$

$$na2 = \frac{fp2}{fd} = \frac{fp2}{|fp1 - fp2|}$$

5 wobei  $\tau$  für die Signallaufzeit steht,  $fp1$  und  $fp2$  für die Impulswiederholffrequenz des ersten bzw. zweiten Sendesignals  $S1$  bzw.  $S2$  stehen und  $fd$  für den Differenzfrequenzwert steht. Die Größen  $na1$ ,  $na2$  werden im folgenden als Dehnungsfaktoren bezeichnet.

10 Die Impulse der Auswertesignale  $D1$ ,  $D2$  werden somit um einen durch die Signallaufzeit  $\tau$  bestimmten Koinzidenzabstand  $tm = tv1 + tv2$  gegeneinander verschoben. Wird der Differenzfrequenzwert  $fd$  gegenüber den Impulswiederholffrequenzen  $fp1$ ,  $fp2$  gering gewählt, dann sind die Dehnungsfaktoren  $na1$ ,  $na2$  annähernd gleich groß. Für den Koinzidenzabstand  $tm$  gilt dann in guter Näherung

$$tm = 2 \tau \cdot na$$

mit

$$na = na1 \approx na2.$$

15 Aufgrund der Proportionalität zwischen dem Koinzidenzabstand  $tm$  und der Signallaufzeit  $\tau$  läßt sich die Signallaufzeit  $\tau$  und damit auch der Abstand zwischen den Sende-Empfangs-Stationen 1 und 2 nun durch Messung des Koinzidenzabstands  $tm$  ermitteln.

20 Wird der Dehnungsfaktor  $na$  groß gewählt, kann die Messung der Signallaufzeit  $\tau$  der Sendesignale  $S1$ ,  $S2$  aus einem Originalzeitbereich auf eine gegenüber der Signallaufzeit  $\tau$  um einige Größenordnungen größere Zeitbasis in einem Abbildungszeitbereich der Auswertesignale  $D1$ ,  $D2$  zurückgeführt werden. Beispielsweise läßt sich die Messung von Zeiten in der Größenordnung von einigen ns im Originalzeitbereich auf eine Messung von Zeiten in der Größenordnung von einigen  $\mu s$  oder sogar ms im Abbildungszeitbereich zurückführen, was mit einem  
25 geringen technischen Aufwand verbunden ist. Es ist damit mit geringem Aufwand

möglich, Entfernungen mit einer Ortsauflösung von ca. 10 cm zu messen, was einer Zeitauflösung von etwa 300 ps im Originalzeitbereich entspricht.

5 Wenn die Abstandsmessung am Ort der ersten Sende-Empfangs-Station 1 erfolgen soll, dann müssen zur Ermittlung des Koinzidenzabstands  $t_m$  an diesem Ort sowohl die ersten Koinzidenzzeitpunkte  $t_{11}$ ,  $t_{12}$  als auch die zweiten Koinzidenzzeitpunkte  $t_{21}$ ,  $t_{22}$  bekannt sein oder am Ort der ersten Sende-Empfangs-Station 1 Größen bereitgestellt werden, die in einer bestimmten Beziehung zu den Koinzidenzzeitpunkten  $t_{21}$ ,  $t_{22}$  stehen.

10 In einem ersten Ausführungsbeispiel werden Informationen über die zweiten Koinzidenzzeitpunkte  $t_{21}$ ,  $t_{22}$  über einen gesonderten Funkkanal von der zweiten Sende-Empfangs-Station 2 zur ersten Sende-Empfangs-Station 1 übertragen, d. h. über einen Funkkanal, dessen Trägerfrequenz sich von der Trägerfrequenz des ersten und zweiten Sendesignals  $S_1$ ,  $S_2$  unterscheidet. Die Trägerfrequenz des gesonderten Funkkanals ist dabei vorteilhafterweise geringer als die Trägerfrequenz der Sendesignale  $S_1$ ,  $S_2$ . Aus den somit am Ort der ersten Sende-Empfangs-Station 1 bekannten ersten und zweiten Koinzidenzzeitpunkten kann dann der Koinzidenzabstand  $t_m$  und hieraus die Signallaufzeit  $\tau$  oder der Abstand zwischen den Sende-Empfangs-Stationen 1 und 2 ermittelt werden.

20 Die Signallaufzeit  $\tau$  läßt sich aber auch ermitteln, indem das zweite Sendesignal  $S_2$  moduliert wird und die aus der Modulation resultierende Änderung des Abstands zwischen den ersten Koinzidenzzeitpunkten  $t_{11}$ ,  $t_{12}$ , ... d. h. des Pulsabstands zwischen den Impulsen des ersten Auswertesignals  $D_1$ , wie im folgenden dargelegt, ausgewertet wird, oder indem das erste Sendesignal  $S_1$  moduliert wird und die aus der Modulation resultierende Änderung des Abstands zwischen den  
25 zweiten Koinzidenzzeitpunkten  $t_{21}$ ,  $t_{22}$ , ... d. h. des Pulsabstands zwischen den Impulsen des zweiten Auswertesignals  $D_2$  ausgewertet wird.

Figur 4 zeigt die Signale aus den Figuren 2 und 3 für den Fall, daß das zweite Sendesignal  $S_2$  durch Frequenzumtastung der Impulswiederholfrequenz  $f_{p2}$  moduliert wird. Die Impulse der Signale sind jetzt nur noch durch Striche dargestellt,  
30 welche die Zeitpunkte des Auftretens der Impulse markieren.

Ausgehend von dem Fall, daß für den Differenzfrequenzwert  $f_d$  gilt

$$f_d = f_{p2} - f_{p1} \text{ mit } f_{p2} > f_{p1},$$

5 wird bei der Frequenzumtastung die Impulswiederholfrequenz  $f_{p2}$  des zweiten Sendesignals  $S_2$  sprunghaft von einem ersten festen Frequenzwert  $f_{21}$  um eine vorgegebene Frequenzstufe  $\Delta f$  auf einen zweiten festen Frequenzwert  $f_{22} = f_{21} + \Delta f$  erhöht, d. h. der Differenzfrequenzwert  $f_d$  wird vergrößert, oder vom zweiten Frequenzwert  $f_{22}$  auf den ersten Frequenzwert  $f_{21}$  reduziert. Die Frequenzumtastung erfolgt dabei zeitsynchron zu den Impulsen des zweiten Auswertesignals  $D_2$ .

10 Im dargestellten Beispiel wird die Impulswiederholfrequenz  $f_{p2}$  zu den Koinzidenzzeitpunkten  $t_{22}$ ,  $t_{24}$  umgeschaltet. In den Zeitabschnitten A ist die Impulswiederholfrequenz  $f_{p2}$  dann gleich dem ersten Frequenzwert  $f_{21}$  und im Zeitabschnitt B gleich dem zweiten Frequenzwert  $f_{22}$ . Der Frequenzsprung um die Frequenzstufe  $\Delta f$  hat zur Folge, daß der Pulsabstand  $T_d$  zwischen den Impulsen des zweiten Auswertesignals  $D_2$  durch die Frequenzumtastung vom Wert  $m$  auf den Wert  $n$  reduziert bzw. wieder vom Wert  $n$  auf den Wert  $m$  erhöht wird. Wird die Frequenzstufe  $\Delta f$  - wie in der Figur dargestellt - gleich dem Wert

$$\Delta f = f_{21} - f_{p1} = f_d$$

gewählt, dann verdoppelt sich der Betrag des Differenzfrequenzwerts

$$f_d = |f_{p1} - f_{p2}|$$

20 beim Übergang vom Zeitbereich A in den Zeitbereich B und halbiert sich wieder beim Übergang vom Zeitbereich B in den nächsten Zeitbereich A. Der Wert  $m$  ist daher doppelt so groß wie der Wert  $n$ .

25 Die Frequenzumtastung hat weiterhin zur Folge, daß bei der Hochtastung der Impulswiederholfrequenz  $f_{p2}$  auf den zweiten festen Frequenzwert  $f_{22}$  der Pulsabstand  $T_d$  zwischen den Impulsen des ersten Auswertesignals  $D_1$  vom Wert  $m$  um eine entfernungsproportionale Zeit  $t_d$  auf einen Wert  $x$  reduziert wird. Entsprechend wird bei der Rücktastung der Impulswiederholfrequenz  $f_{p2}$  auf den ersten festen Frequenzwert  $f_{21}$  und daß aufgrund der Erhöhung des Pulsabstands  $T_d$  zwischen den Impulsen des zweiten Auswertesignals  $D_2$  der Pulsab-

stand  $T_d$  zwischen den Impulsen des ersten Auswertesignals  $D_1$  vom Wert  $n$  um die entfernungsproportionale Zeit  $t_d$  auf einen Wert  $y$  erhöht.

Für die Werte  $x$  und  $y$  gilt

$$x = m - t_d$$

5  $y = n + t_d,$

mit

$$t_d = \tau \cdot na_2 = \tau \cdot \frac{f_{21}}{f_{21} - f_{p1}} = \tau \cdot \frac{f_{21}}{f_d}.$$

10 Hierbei stehen  $m$  und  $n$  für den langen bzw. kurzen Pulsabstand  $T_d$  zwischen den Impulsen des zweiten Auswertesignals  $D_2$ ,  $t_d$  für die entfernungsproportionale Zeit,  $\tau$  für die Signallaufzeit und  $na_2$  für den Dehnungsfaktor bei der Impulswiederholfrequenz  $f_{p2} = f_{21}$ . Die Werte  $x$  und  $y$  sind somit linear abhängig von der Signallaufzeit  $\tau$ .

Die obige Gleichung gilt für große Dehnungsfaktoren  $na_2$  und für eine Frequenzstufe von  $\Delta f = f_{21} - f_{p1} = f_d$ . Wird die Frequenzstufe  $\Delta f$  beliebig gewählt, gilt

15  $t_d = 2 \cdot (\tau \cdot na_2 - \tau \cdot na_2^*) = 2 \cdot \tau \cdot (na_2 - na_2^*)$

mit

$$na_2 = \frac{f_{21}}{f_{21} - f_{p1}}$$

$$na_2^* = \frac{f_{22}}{f_{22} - f_{p1}} = \frac{f_{21} + \Delta f}{f_{21} + \Delta f - f_{p1}}.$$

20 Hierbei stehen  $na_2$  und  $na_2^*$  für die Dehnungsfaktoren bei der Impulswiederholfrequenz  $f_{p2} = f_{21}$  bzw.  $f_{p2} = f_{22} = f_{21} + \Delta f$ .

Durch Messung der Werte  $x$  und  $y$  ist es somit möglich, die entfernungsproportionale Zeit  $t_d$  und aus dieser die Signallaufzeit  $\tau$  sowie den Abstand zwischen den Sende-Empfangs-Stationen 1 und 2 zu ermitteln.

5 Das beschriebene Verfahren ermöglicht neben der Ermittlung der Signallaufzeit  $\tau$  gleichzeitig auch eine Übertragung von Daten von der zweiten Sende-Empfangs-Station 2 zur ersten Sende-Empfangs-Station 1. Dazu ist es lediglich erforderlich, den Werten  $m$  und  $n$  jeweils einen der logische Werte "0" oder "1" zuzuordnen. Dem Wert  $x$  ist dann der logische Wert des Wertes  $m$  und dem Wert  $y$  der logische Wert des Wertes  $n$  zuzuordnen. In gleicher Weise lassen sich dann durch  
10 Frequenzumtastung auch Daten von der ersten Sende-Empfangs-Station 1 zur zweiten Sende-Empfangs-Station 2 übertragen.

Aufgrund der Frequenzumtastung entstehen an den Ausgängen der Mischer 14, 24 jeweils zwei sich voneinander unterscheidende Zwischenfrequenzen  $f = f_c/n_{a2}$ ,  $f_i^* = f_c/n_{a2}^*$ , wobei  $f_c$  für die Trägerfrequenz der Sendesignale  $S_1$ ,  $S_2$  steht, so daß die ZF-Filter 15, 25 jeweils zwei Durchlaßbereiche aufweisen müssen.  
15

Dieser Nachteil wird vermieden, wenn die Frequenzstufe  $\Delta f$  derart gewählt wird, daß die Frequenzumtastung eine Vorzeichenumkehr der Differenz zwischen den Impulswiederhol frequenzen  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$  bewirkt. Die Frequenzwerte  $f_{21}$ ,  $f_{22}$  sind  
20 dann so zu wählen, daß die Impulswiederhol frequenz  $f_{p1}$  in der Mitte zwischen diesen Werten liegt.

Figur 5 zeigt für eine derartige Frequenzumtastung die Sendesignale  $S_1$ ,  $S_2$ , die Empfangssignale  $E_1$ ,  $E_2$  und die Auswertesignale  $D_1$ ,  $D_2$ , für den Fall, daß die Impulswiederhol frequenz  $f_{p2} = f_{p21} = f_{p1} - f_d$  umgetastet wird auf einen Wert  
25  $f_{p22} = f_{p21} + \Delta f = f_{p1} + f_d$ , also mit  $\Delta f = 2 \cdot f_d$ . Dargestellt ist dabei der Fall für eine Signallaufzeit  $\tau = 0$ . In diesem Fall bewirkt die Frequenzstufe  $\Delta f$  keine Änderung des Pulsabstands  $T_d$  zwischen den Impulsen der Auswertesignale  $D_1$ ,  $D_2$ .

Figuren 6a und 6b zeigen die gleichen Signale für eine Signallaufzeit  $\tau > 0$ . Im Zeitbereich A ist die Impulswiederhol frequenz  $f_{p2}$  des zweiten Sendesignals  $S_2$  gleich dem ersten Frequenzwert  $f_{21}$  und im Zeitbereich B gleich dem zweiten  
30 Frequenzwert  $f_{22} = f_{21} + \Delta f$ . Der Frequenzwechsel vom Frequenzwert  $f_{21}$  zum

Frequenzwert  $f_{22}$  erfolgt zum Zeitpunkt  $t_{21}$  und der Frequenzwechsel vom Frequenzwert  $f_{22}$  zurück zum Frequenzwert  $f_{21}$  zum Zeitpunkt  $t_{24}$ , also synchron zu den Impulsen des zweiten Auswertesignals  $D_2$ .

5 Der Frequenzwechsel bewirkt keine Änderung des Betrag des Koinzidenzabstands  $t_m$ , es ändert sich lediglich die Richtung des Versatzes zwischen den Auswertesignalen  $D_1$ ,  $D_2$ , d. h. das Vorzeichen des Phasenunterschieds zwischen diesen Signalen. Der Pulsabstand zwischen den Impulsen des ersten Auswertesignals  $D_1$  wird daher beim Wechsel vom ersten Frequenzwert  $f_{21}$  zum zweiten Frequenzwert  $f_{22}$  einmalig vom Wert  $T_d$  auf den Wert  $U = 2 t_m = 4 \tau$  na reduziert und beim Wechsel zurück zum ersten Frequenzwert  $f_{21}$  einmalig auf den Wert  $D = 2 T_d - U$  erhöht. Die aus der Frequenzumtastung resultierende Änderung des Pulsabstands zwischen den Impulsen des ersten Auswertesignals  $D_1$  ist somit abhängig von der Signallaufzeit  $\tau$ . Durch Messung der Pulsabstände zwischen den Impulsen des ersten Auswertesignals  $D_1$  ist es daher möglich, die Werte  $U$  oder  $D$  zu ermitteln und hieraus die Signallaufzeit  $\tau$  und den Abstand zwischen den Sende-Empfangs-Stationen 1, 2 zu bestimmen.

Diese Art der Frequenzumtastung eignet sich besonders gut zur seriellen Übertragung von digitalen Daten. Den Frequenzwerten  $f_{21}$ ,  $f_{22}$  ist hierzu wie in Figur 7 dargestellt lediglich jeweils einer der logischen Werte "0" oder "1" zuzuordnen.

20 Gemäß Figur 7 wird ein digitales Datensignal  $D_x$  von der zweiten Sende-Empfangs-Station 2 zur ersten Sende-Empfangs-Station 1 übertragen, indem die Impulswiederholfrequenz  $f_{p2}$  des zweiten Sendesignals  $S_2$  in Zeitbereichen A, in denen ein logischer Wert "0" übertragen werden soll, auf den ersten Frequenzwert  $f_{21}$  und in Zeitbereichen B, in denen eine logische "1" übertragen werden soll, auf den zweiten Frequenzwert  $f_{22}$  gesetzt wird. In der ersten Sende-Empfangs-Station 1 erkennt man dann anhand des Pulsabstands zwischen den Impulsen des ersten Auswertesignals  $D_1$ , ob ein Bitwertwechsel im Datensignal  $D_x$  stattgefunden hat. Verkürzt sich der Pulsabstand auf einen unterhalb der Periode  $T_d$  liegenden Wert  $U$  ist dies ein Hinweis auf einen Bitwertwechsel von "0" auf "1", verlängert sich der Pulsabstand hingegen auf einen oberhalb der Periode  $T_d$  liegenden Wert  $D$  ist dies ein Hinweis auf einen Bitwertwechsel von "1" auf "0". In gleicher Weise kann auch das erste Sendesignal  $S_1$  durch Frequenzumta-

stung moduliert werden, womit eine bidirektionale Datenübertragung zwischen den Sende-Empfangs-Station 1, 2 gewährleistet wird.

5 Die beschriebenen Verfahren liefern aufgrund der Periodizität der Sendesignale  $S_1$ ,  $S_2$  lediglich für Signallaufzeiten  $\tau$ , die innerhalb eines durch die Impulswiederholffrequenzen  $fp_1$ ,  $fp_2$  bestimmten Eindeutigkeitsbereichs liegen, eindeutige Meßergebnisse. Der Eindeutigkeitsbereich läßt sich zwar durch Ändern der Impulswiederholffrequenzen  $fp_1$ ,  $fp_2$ , beispielsweise durch Frequenzteilung erhöhen, dies ist aber mit einer Reduzierung der Meßauflösung verbunden.

10 Das Überschreiten des Eindeutigkeitsbereichs während einer Messung kann durch eine zusätzliche Messung erkannt werden, indem der Eindeutigkeitsbereich für die zusätzliche Messung durch Änderung der Impulswiederholffrequenzen  $fp_1$ ,  $fp_2$  erhöht wird und indem geprüft wird, ob das Ergebnis der zusätzlichen Messung innerhalb des Eindeutigkeitsbereichs der einen Messung liegt.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen einer ersten und zweiten Sende-Empfangs-Station (1, 2), dadurch gekennzeichnet,
- 10 - daß in der ersten und zweiten Sende-Empfangs-Station (1, 2) ein erstes bzw. zweites Sendesignal (S1, S2) erzeugt wird und als Mikrowellenimpulsreihe mit vorgegebener Impulswiederholfrequenz (fp1, fp2) zur jeweils anderen Sende-Empfangs-Station (2, 1) aussendet und von dieser als Empfangs-  
15 signal (E2, E1) empfangen wird, wobei die Impulswiederholfrequenzen (fp1, fp2) der Sendesignale (S1, S2) sich um einen vorgegebenen Differenzfrequenzwert (fd) voneinander unterscheiden,
  - daß in der ersten und zweiten Sende-Empfangs-Station (1, 2) erste bzw. zweite Koinzidenzzeitpunkte (t11, t12, ...; t21, t22, ...) ermittelt werden, die  
20 den Zeitpunkten entsprechen, zu denen Impulse des von der jeweiligen Sende-Empfangs-Station (1, 2) ausgesendeten Sendesignals (S1, S2) und empfangenen Empfangssignals (E1, E2) zusammentreffen,
  - und daß der Abstand zwischen den Sende-Empfangs-Stationen (1, 2) aus den Abständen (tm; x, y; U, D) zwischen den Koinzidenzzeitpunkten ermittelt wird.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein dem zeitlichen Versatz zwischen den ersten und zweiten Koinzidenzzeitpunkten entsprechender Koinzidenzabstand (tm) als Maß des Abstands zwischen den beiden Sende-Empfangs-Stationen (1, 2) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß Informationen über die zweiten Koinzidenzzeitpunkte (t21, t22) über einen Funkkanal von der zweiten Sende-Empfangs-Station (2) zur ersten Sende-Empfangs-Station (1) übertragen werden und daß der Koinzidenzabstand (tm) in der ersten Sende-Empfangs-Station (1) aus den übermittelten Informationen und den in der ersten Sende-



Empfangs-Station (1) ermittelten ersten Koinzidenzeitpunkten ( $t_{11}$ ,  $t_{12}$ ) ermittelt wird.

5 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Übertragung der Informationen über die zweiten Koinzidenzeitpunkte ( $t_{21}$ ,  $t_{22}$ ) und die Übertragung der Sendesignale ( $S_1$ ,  $S_2$ ) über unterschiedliche Funkkanäle erfolgt.

10 5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Sendesignal ( $S_2$ ) durch Frequenzumtastung seiner Impulswiederholfrequenz ( $fp_2$ ) moduliert wird und daß eine aus der Frequenzumtastung resultierende Änderung ( $\Delta t_d$ ) des Abstands ( $T_d$ ) zwischen den ersten Koinzidenzeitpunkten ( $t_{11}$ ,  $t_{12}$ , ...) als Maß des Abstands zwischen den Sende-Empfangs-Stationen (1, 2) ermittelt wird.

15 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Impulswiederholfrequenz ( $fp_2$ ) des zweiten Sendesignals ( $S_2$ ) bei der Frequenzumtastung zwischen zwei festen Frequenzwerten ( $f_{21}$ ,  $f_{22}$ ) umgeschaltet wird, wobei die Umschaltung synchron zu den zweiten Koinzidenzeitpunkten ( $t_{21}$ ,  $t_{22}$ , ...) erfolgt.

20 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden festen Frequenzwerte ( $f_{21}$ ,  $f_{22}$ ) derart vorgegeben werden, daß der Wechsel vom einen Frequenzwert ( $f_{21}$ ) zum anderen Frequenzwert ( $f_{22}$ ) eine Verdoppelung des Betrags der Differenz zwischen den Impulswiederholfrequenzen ( $fp_1$ ,  $fp_2$ ) der Sendesignale ( $S_1$ ,  $S_2$ ) bewirkt.

25 8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß beiden festen Frequenzwerte ( $f_{21}$ ,  $f_{22}$ ) derart vorgegeben werden, daß der Wechsel vom einen Frequenzwert ( $f_{21}$ ) zum anderen Frequenzwert ( $f_{22}$ ) eine Vorzeichenumkehr der Differenz zwischen den Impulswiederholfrequenzen ( $fp_1$ ,  $fp_2$ ) der Sendesignale ( $S_1$ ,  $S_2$ ) bewirkt.

30 9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Differenzfrequenzwert ( $\Delta f_d$ ) wesentlich kleiner als Impulswiederholfrequenzen ( $fp_1$ ,  $fp_2$ ) ist.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beide Sendesignale (S1, S2) zur Übertragung von Daten moduliert werden.

5 11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in den Sende-Empfangs-Stationen (1, 2) das in der jeweiligen Sende-Empfangs-Station (1, 2) erzeugte Sendesignal (S1, S2) mit dem von dieser Station empfangenden Empfangssignals (E1, E2) durch Mischung in ein Zwischenfrequenzsignal (Z1, Z2) umgesetzt wird, das Zwischenfrequenzsignal (Z1, Z2) durch Filterung und Hüllkurvendenmodulation in ein impulsförmiges Auswertesignal (D1, D2) umgesetzt wird und die zeitliche Position der Impulse des Auswertesignals (D1, D2) als Koinzidenzzeitpunkte (t11, t12, t21, t22) ermittelt werden.  
10

12. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche in einem schlüssellosen Schließsystem für Kraftfahrzeuge zur Ermittlung des Abstands zwischen einer im Kraftfahrzeug vorgesehenen ersten Sende-Empfangs-Station und einer in einem Schlüsselmodul vorgesehenen zweiten Sende-Empfangs-Station.  
15

### Zusammenfassung

5 1. Verfahren zur Ermittlung des Abstands zwischen einer ersten und zweiten Sende-Empfangs-Station

10 2.1. Sende-Empfangs-Stationen werden in der Fahrzeugtechnik üblicherweise in schlüssellosen Schließsystemen als elektronisches Schlüsselmodul bzw. Auswerteeinheit zur Identifizierung des Schlüsselmoduls eingesetzt. Die Deaktivierung des Schließsystems wird dabei verhindert, wenn das anhand einer eindeutigen Identifikationsnummer der Auswerteeinheit zugeordnete Schlüsselmodul sich nicht im Nahbereich der Auswerteeinheit befindet. Das neue Verfahren soll die Ermittlung des Abstands zwischen zwei Sende-Empfangs-Stationen mit hoher Auflösung ermöglichen.

15 2.2. Beim neuen Verfahren werden in den Sende-Empfangs-Station jeweils ein Sendesignal erzeugt und als Mikrowellenimpulsreihe mit vorgegebener Impulswiederholfrequenz zur jeweils anderen Sende-Empfangs-Station aussendet und von dieser als Empfangssignal empfangen. Die Impulswiederholfrequenzen der Sendesignale unterscheiden sich dabei voneinander um einen vorgegebenen Differenzfrequenzwert, der vorzugsweise klein gegenüber den Impulswiederholfrequenzen ist. In den Sende-Empfangs-Stationen werden Koinzidenzeitpunkte ermittelt, die den Zeitpunkten entsprechen, zu denen Impulse des von der jeweiligen Sende-Empfangs-Station ausgesendeten Sendesignals und empfangenen Empfangssignals zusammentreffen. Der Abstand zwischen den Sende-Empfangs-Stationen wird dann aus den Koinzidenzeitpunkten ermittelt.

USPS EXPRESS MAIL  
EV 511 024 488 US  
APRIL 8 2005